

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 06 JUN 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 28 159.9

Anmeldetag: 24. Juni 2002

Anmelder/Inhaber: Rohde & Schwarz GmbH & Co KG, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Entzerrung und Demodulation eines
über einen zeitveränderlichen Kanal übertragenen
Datensignals

IPC: H 04 L, H 04 Q

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 30. April 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Joost

Verfahren zur Entzerrung und Demodulation eines über einen
zeitveränderlichen Kanal übertragenen Datensignals

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entzerrung und zur Demodulation eines über einen zeitveränderlichen Kanal zu einem Empfänger übertragenen Datensignals.

10 Moderne Datenübertragungsverfahren über zeitveränderliche Kanäle (Fading-Kanäle) sind anfällig gegenüber Intersymbolinterferenzen (ISI) oder Interchannelinterferenzen (ICI). Demgemäß ist eine Kanalschätzung und Entzerrung notwendig.

15

Konventionelle Verfahren zur Kanalschätzung und Entzerrung basieren auf der Schätzung der Kanalimpulsantwort als Zeitfunktion bzw. im Spektralbereich. Diese wird in der Regel direkt mit Hilfe von Training-Sequenzen geschätzt.

20 Das der Schätzung zugrunde liegende Kanalmodell kann entweder nur eine einzige Zeitfunktion modellieren, oder aber über das übliche tapped-delay-Modell verschiedene Pfade mit unterschiedlicher Verzögerung berücksichtigen. Den Modellen und damit Schätzverfahren ist gemeinsam, daß 25 sie die Geometrie der die Verzerrung verursachenden Scatterer (Streuer) nicht berücksichtigen.

Bei Multicarrier-Verfahren, z.B. OFDM, ergeben unterschiedliche Dopplershifts in den einzelnen Pfaden des 30 Kanals ICI, d.h. die benachbarten Träger beeinflussen einen bestimmten Träger. Besitzt der reale Kanal mehrere Pfade mit unterschiedlicher Dopplershift, kann ein konventionelles Verfahren mit der direkten Schätzung des Kanals über dessen Impulsantwort diese verschiedenen 35 Dopplershifts nicht ermitteln. Demgemäß bleibt ICI bestehen und der Empfänger kann das Signal nicht optimal empfangen und verarbeiten.

Die üblichen Annahmen über die zeitliche Änderung des Kanals gehen davon aus, daß sich die Impulsantwort des Kanals zwischen den Training-Sequenzen nur gering bzw. deterministisch ändert und die verwendeten Kanalschätz-
5 und Tracking-Algorithmen hinreichend konvergieren.

Bei Multicarrier-Verfahren, z.B. OFDM, wird implizit vorausgesetzt, daß der Kanal auf einem OFDM-Block konstant ist. Ein Verfahren für die Entzerrung von DVB-T auf der
10 Basis der Annahme der Konstanz ist beispielsweise in Burow-R; Fazel-K; Hoher-P; Klank-O; Kussmann-H; Pogrzeba-P; Robertson- P; Ruf-M-J "On the performance of the DVB-T system in mobile environments" IEEE GLOBECOM 1998 beschrieben.

15

Bei sehr schnell veränderlichen Kanälen bedingen die oben angeführten Vorgehensweisen eine schnelle Abfolge von Training-Sequenzen bzw. eine schlechtere Konvergenz der Kanalschätzung. Bei den Multicarrier-Verfahren ist die
20 erwähnte Konstanz auf einem Block nicht mehr gewährleistet, so daß die Performance der Verfahren stark abnimmt.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum
25 Entzerrern und zur Demodulation eines über einen solchen zeitveränderlichen Übertragungskanal übertragenen Datensignals zu schaffen, das diese Nachteile und Beschränkungen bezüglich der Eigenschaften des Kanals vermeidet.

30

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren laut Oberbegriff des Hauptanspruches durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

35

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird nicht mehr die Kanalimpulsantwort für die Kanalschätzung benutzt, sondern vielmehr die sogenannten Scatterer-Koeffizienten, nämlich die komplexwertige Dämpfung, die Verzögerung und die

Dopplershift im Kanal. Die durch sogenannte Streuer (Scatterer) verursachten Reflexionen eines zwischen Sender und Empfänger ausgestrahlten Signals sind ursächlich für die Qualität des Übertragungskanals, wie dies

5 beispielsweise beschrieben ist in dem Buch von Raymond Steele, "Mobile Radio Communications", Pentech Press, London, 1992, Abschnitt 2.3.1. Solche Scatterer wie Gebäude oder Fahrzeuge verzerrn das zwischen Sender und Empfänger übertragene Datensignal. Am verzerrten

10 Datensignal können im Empfänger diese auf die Scatterer zurückzuführenden Scatterer-Koeffizienten ermittelt werden, mit denen dann das verzerrte Datensignal entzerrt und schließlich demoduliert werden kann. Gemäß der Erfindung werden also die Kanaleigenschaften durch diese

15 Scatterer-Koeffizienten definiert, die im Sinne der nachfolgenden Beschreibung auf einfache Weise aus den empfangenen verzerrten Datensignalen ermittelt werden können.

20 Die Erfindung wird im Folgenden anhand schematischer Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

25 Fig. 1 die zweidimensionale Anordnung der Scatterer mit diskretisierten Doppelfrequenzen und Verzögerungen;

Fig. 2 einen Suchbaum und

30 Fig. 3 einen von dem Suchbaum der Fig. 2 abgeleiteter Baum mit Berücksichtigung der Codierung.

Fig. 1 zeigt anhand eines zweidimensionalen Feldes die Diskretisierung der Dopplerfrequenz f_d und der Verzögerung τ im Übertragungskanal für verschiedene Scatterer. Diese graphische Darstellung lässt sich unmittelbar in eine Scatterer-Matrix S mit den Scattererkoeffizienten $S(m, k)$ überführen, wie sie in den nachfolgenden Gleichungen (1) bis (4) verwendet wird. Die Koeffizienten der Matrix S

stellen die komplexwertigen Dämpfungswerte (Amplitude und Phase) dar. Die Quantisierung in Verzögerungsrichtung τ und in Dopplershift-Richtung f_d hängt vom Kanal und Datenübertragungsverfahren ab. Die Maximalwerte K für die 5 diskrete normierte Dopplershift und M für die diskrete normierte Verzögerung ergeben sich durch die physikalischen Parameter des Kanals. Wie ersichtlich, ist es vorteilhaft und ohne Beschränkung der Allgemeinheit sinnvoll, daß die Quantisierungen in Verzögerungs- und 10 Dopplershift-Richtung jeweils äquidistant sind. Tritt für einen bestimmten Eintrag kein physikalischer Scatterer auf, so wird der entsprechende Scatterer in der Matrix einfach zu Null gesetzt.

15 In Fig. 1 sind fünf Scatterer dargestellt, deren Indizes der Position in der Scatterermatrix entsprechen; die Nummerierung beginnt hier mit 1.

20 Die Symmetrie bezüglich der Dopplershift (positiv und negative Werte) ist nicht a priori notwendig, sondern vom Kanal abhängig.

25 Dieses physikalische Modell berücksichtigt folglich die Geometrie des Ausbreitungsmodells des Kanals anstelle der Impulsantworten. Diese Geometrie und damit die dem jeweiligen Scatterer zugeordnete Verzögerung τ und Dopplershift f_d bleibt während genügend langen Zeiten praktisch konstant, da sich Sender und/oder Empfänger nicht beliebig schnell bewegen bzw. beliebig schnelle 30 Bewegungsänderungen durchführen können.

35 Im Gegensatz hierzu kann sich die Impulsantwort des Kanals im Prinzip beliebig innerhalb der zulässigen physikalischen Grenzen ändern. Die diskrete Impulsantwort errechnet sich aus den komplexen Scatterern-Koeffizienten $S(m,k)$ zu

$$h(m,i) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=-K}^K S(m,k) e^{j2\pi \frac{ki}{N}} \quad (1)$$

$$h(i) = \sum_{m=0}^M h(i,m)$$

Hierbei ist K die maximal vorkommende Dopplerfrequenz, m ist der Laufindex für die Verzögerung und i ist die diskrete Laufvariable für die Zeit. $h(i)$ ist die 5 resultierende diskrete zeitliche Impulsantwort des Kanals. Sie wird über die Länge N betrachtet.

Die zeitvariante kontinuierliche Impulsantwort des Kanals $h(\tau,t)$ ist physikalisch in τ und f_d begrenzt. Daher gilt 10 für die Scattererfunktion $S(\tau,f_d)$ als die Fouriertransformation von $h(\tau,t)$ über t $S(\tau,f_d) = 0$ für $\tau \geq \tau_{\max}, |f_d| \geq f_{d,\max}$. In Analogie zum Abtasttheorem kann die Impulsantwort $h(\tau,t)$ daher vollständig durch 15 Abtastwerte im Frequenzbereich dargestellt werden, so daß sich (1) als diskrete Darstellung des Kanals ergibt.

Der Maximum-Likelihood-Ansatz für die Ermittlung der Scatterer-Koeffizienten Matrix S im Zeitbereich ergibt durch die Minimierung des nachfolgenden Ausdrucks nach den 20 Scatterer-Koeffizienten.

$$\sum_{i=0}^{N-1} \left\| r(i) - \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^M d(i-m) \sum_{k=-K}^K S(m,k) e^{j2\pi \frac{ki}{N}} \right\|^2 \quad (2)$$

Hierbei wird implizit vorausgesetzt, daß die gesendeten 25 Datensymbole $d(i-m)$ bekannt sind. $r(i)$ ist ein Sample des empfangenen Signals.

Die Variablen $r(i)$ und $d(i-m)$ sind im Zeitbereich definiert.

30 Die Datensymbole sind entweder direkt bekannt als Trainingsequenz vorausgesetzt oder sie werden aus dem empfangenen Signal durch die nachfolgend beschriebenen Verfahren ermittelt.

Die Schätzung der Scatterer-Koeffizienten im Zeitbereich wird vorzugsweise bei Datenübertragungsverfahren verwendet, die im Zeitbereich arbeiten. Solche Verfahren sind z.B. single carrier-Verfahren mit PSK oder QAM-5 Modulation.

Bei Multicarrier-Signalen mit bekannten gesendeten Symbolen könnte die Schätzung im Zeitbereich ebenfalls durchgeführt werden, da das Sendesignal a priori bekannt 10 ist.

Den Modulationsverfahren kann in Gleichung (2) Rechnung getragen werden, indem die Datensymbole $d(i-m)$ die jeweilige Signalform der verwendeten Modulationsart 15 tragen, ggf. mit partial response pulse shaping. Kanäle mit großem Gedächtnis, d.h. mit langer Impulsdauer, können durch die entsprechende Wahl der maximalen Verzögerung M entzerrt werden. Hierbei wird naturgemäß auch die Beobachtungsdauer N entsprechend lang sein.

20 In analoger Weise zu Gleichung (2) kann eine Schätzung im Frequenzbereich durchgeführt werden. Hier ergibt sich

$$\sum_{n=0}^{N-1} \left\| R(n) - \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=-K}^K \sum_{m=0}^{M-1} D(n-k) S(m, k) e^{-j2\pi m \frac{n-k}{N}} \right\|^2 \quad (3)$$

25 Die in (3) gegebenen Variablen $R(n)$ und $D(n-k)$ sind im Frequenzbereich definiert.

Die Schätzung der Scatterer-Koeffizienten im Frequenzbereich wird vorzugsweise bei Datenübertragungsverfahren verwendet, die im 30 Frequenzbereich arbeiten. Solche Verfahren sind z.B. Multicarrierverfahren wie OFDM beim DVB-T Verfahren.

Wie bei der Schätzung im Zeitbereich kann das Datensymbol $D(n-k)$ die Signalform der verwendeten Modulationsart 35 tragen, hier im Frequenzbereich dargestellt.

Wie aus (2) und (3) ersichtlich, werden zur Schätzung der Scatterer-Koeffizienten die gesendeten Daten als bekannt vorausgesetzt. Die Schätzung erfolgt über N Samples im Zeitbereich bzw. N spektrale Komponenten im

5 Frequenzbereich.

Im Normalfall einer Übertragung wird zu Beginn eine bekannte Symbolfolge gesendet, die zur Synchronisation dient. Anschließend muß der Empfänger bei unbekannten

10 Datenfolgen die Schätzung des Kanals nachführen bzw. bei erneuter Aussendung von Synchronisationsinformationen oder Trainingsymbolen neu schätzen bzw. das Konvergenzverhalten

15 des Schätz- und Nachführalgorithmus adaptieren.

20 Die Schätzung der Scatterer-Koeffizienten erfolgt vorzugsweise mittels eines rekursiven Kalman- oder eines RLS-Algorithmus, bei dem nach der Initialisierung durch die bekannte Symbolfolge auch bei zunächst unbekannter Folge der Kanal nachgeführt wird. Ein solcher RLS-

Algorithmus für die Bestimmung der Scatter-Koeffizienten lautet z.B.

$$\begin{aligned}
 K(i) &= P(i-1) \cdot D^T(i) \left(D(i) \cdot P(i-1) \cdot D^T(i) + W(i) \right)^{-1} \\
 P(i) &= P(i-1) - K(i) \cdot D(i) \cdot P(i-1) \\
 e(i|i-1) &= r(i) - D(i) \cdot \hat{S}(i-1) \\
 \hat{S}(i) &= \hat{S}(i-1) + K(i) \cdot e(i|i-1)
 \end{aligned} \tag{4}$$

25 Hierbei ist $K(i)$ der Kalman-Gain, P die Prediction State Covarianz-Matrix, D die Datenmatrix, die sich aus (2) bzw. (3) ergibt, W die Rausch-Kovarianz-Matrix und \hat{S} der Vektor der geschätzten Scattererkoeffizienten, der durch die Anordnung der Scatterer in einen linearen Vektor aus

30 der Matrix S entsteht. $r(i)$ ist der empfangene abgetastete Signalwert (Zeit oder Frequenzbereich), i der Index in Zeit- oder Frequenzrichtung.

35 Die Verfahren der rekursiven Schätzung sind an sich bekannt und beispielsweise in S. Haykin, "Adaptive Filter"

Theory", 1. Auflage, Englewood Cliffs, New Jersey,
Prentice Hall 1986 beschrieben.

Es sollte erwähnt werden, daß der beschriebene RLS
5 Algorithmus nur exemplarisch für die große Anzahl
verschiedener Ausführungen erwähnt wird.

Nach der Initialschätzung des Kanals mit Hilfe von
10 Training-Symbolen wird ein maximum-likelihood (ML)-Ansatz
gewählt, bei dem für unbekannte Datenfolgen für die
Gleichungen (2) und (3) eine Minimierung über alle
möglichen Datenfolgen und alle möglichen Anordnungen der
Scatterer durchgeführt wird.

15 In Verbindung mit der Kanalschätzung kann vorteilhaft ein
Baumsuchverfahren eingesetzt werden. Hierbei wird,
ausgehend vom durch die Trainingsfolge geschätzten Kanal,
für jede der potentiell möglichen Datenfolgen vom
Empfänger ein Pfad innerhalb eines Baumes aufgebaut. Für
20 jeden dieser Pfade wird eine Kanalschätzung mit der
Schätzung der Scatterer durchgeführt und eine Metrik gemäß
(2) bzw. (3) errechnet. Diejenige Datenfolge mit der
besten Metrik wird als die wahrscheinlich empfangene
ausgegeben. Aufgrund des ML-Ansatzes ist die Metrik eine
25 ML-Metrik.

Anstelle der Metriken gemäß (2) bzw. (3), die ja über das
gesamte Beobachtungsintervall N in einem Block ermittelt
werden, kann unter Berücksichtigung von (4) eine
30 inkrementale Metrik verwendet werden

$$\Lambda(i) = \Lambda(i-1) + e(i|i-1) \cdot (r(i) - D(i)^H \hat{S}(i)) \quad (5)$$

Dieses Baumsuchverfahren ist schematisch in Fig. 2 für
binäre Symbole dargestellt, $\lambda(x, \dots, y)$ bezeichnet die Metrik
35 für die angenommenen Symbole x...y, \hat{S} die Matrix der für
den jeweiligen Pfad ermittelten Scatterer. Die Anzahl der
Indizes gibt die Tiefe des Baumes an, im Beispiel bis

maximal drei. Der zusätzlich markierte Pfad kennzeichnet den über die Metrik momentan ausgewählten besten Pfad.

Der beschriebene Algorithmus ist ein soft output-
 5 Algorithmus, der neben den demodulierten Daten auch noch ein Gütemaß für die Demodulation in Form der Metrik ausgeben kann. Demgemäß ist es möglich, nicht nur die als wahrscheinlichste ermittelte Datenfolge auszugeben, sondern auch noch weniger wahrscheinliche. Hiermit können
 10 im Empfänger nachgeschaltete Verarbeitungsstufen, z.B. Decodierer, Zusatzinformationen erhalten, die sich auf Qualität des Empfangs positiv auswirken.

So ist es möglich, daß mehrere Datensequenzen in den
 15 nachfolgenden Verarbeitungsstufen weiterverarbeitet werden und erst dann eine Entscheidung über die tatsächlich empfangene Sequenz durchgeführt wird.

Das Verfahren läßt sich weiterhin vorteilhaft mit einem
 20 Faltungs- oder auch Blockcode als alleinigem oder innerem Code einer verketteten Code-Struktur kombinieren. Es ist bekannt, daß sich Faltungs- und Block-Codes in Form von Baumstrukturen darstellen lassen. Ein Code wirkt sich auf die o.a. Baumstruktur so aus, daß nicht alle Pfade, die
 25 bei Nichtberücksichtigung des Codes möglich wären, auch wirklich existieren. Daher wird ein solcher Baum bei Berücksichtigung von Codeinformationen nicht alle Pfade beinhalten.

30 Mit dieser Kombination erhält man eine kombinierte Kanalschätzung und -entzerrung, Demodulation und Decodierung, die als "sequential decoding" bezeichnet wird. Dieses Verfahren ist bekannt, neu ist jedoch die Anwendung in Verbindung mit der Bestimmung der Scatterer-
 35 Koeffizienten.

Ein aus dem Beispiel von Fig. 2 abgeleiteter Baum ist in Fig. 3 dargestellt. Durch Vergleich der beiden Bäume wird

deutlich, daß durch den Code bestimmte Pfade nicht existent sind.

Bei mehrwertigen Datensymbolen bzw. langen Datensequenzen
5 ergeben sich im Verlauf der Verarbeitung sehr viele Pfade,
für die jeweils die Metriken und die Scatterermatrizen
sowie weitere Hilfsgrößen für die Algorithmen errechnet
und gespeichert werden müssen. Zur Reduktion des
10 Rechenaufwands und Speicheraufwands kann die Zahl der
verfolgten Pfade reduziert werden. Hierbei werden die
Gesamtzahl der Pfade auf eine maximale Größe, die von der
zur Verfügung stehenden Rechenleistung sowie vom
Speicherbedarf des Empfängers abhängt, begrenzt. Hierbei
können die bekannten Metrik-First, Breadth-First oder auch
15 Depth-First Algorithmen verwendet werden.

Bekannte spezielle Verfahren der Entzerrung mit Baumsuche
haben Nachteile bei Kanälen mit langen Impulsantworten,
bei denen ein Großteil der Energie eines Datensymbols am
20 Ende der Impulsantwort zu liegen kommt und daher a priori
bei der Schätzung des empfangenen Symbols diese Energie
nicht berücksichtigt wird. Hier muß entweder durch eine
entsprechende zusätzliche Verzögerung erst die gesamte
Impulsantwort abgewartet werden oder durch zusätzliche
25 Schätzverfahren mit Modellierung dieser Einflüsse als
Rauschen berücksichtigt werden. Bei der ersten Variante
entstehen viele zusätzliche Pfade, die in der Berechnung
berücksichtigt werden müssen, auch wenn sie nachher wieder
verworfen werden. Wird das Verfahren in allgemeinen und
30 unbekannten Kanälen eingesetzt, muß immer mit der
maximalen Kanalimpulslänge gerechnet und damit der
Algorithmus a priori darauf ausgelegt werden.

Das Verfahren gemäß der Erfindung vermeidet diese
35 Nachteile zwar nicht a priori. Da der Kanal jedoch mit
Hilfe der Scatterer modelliert wird, kann durch Ermittlung
der relevanten Scatterer die maximal vorkommende
Verzögerung und damit die Dimension der Scatterermatrix
bestimmt werden. Während bei bekannten Verfahren diese

maximale Länge immer berücksichtigt werden muß, kann beim erfindungsgemäßen Verfahren adaptiv auf die maximale Verzögerung des Kanals eingegangen und die notwendige Verzögerung bei der Demodulation und Decodierung 5 entsprechend eingestellt werden. Daher wird nur in speziellen Kanälen, bei denen nennenswerte Scatterer bei hohen Verzögerungen auftreten, die große zusätzliche Verzögerung bei der Demodulation und Codierung notwendig werden. Da sich die Geometrie der Scatterer nicht 10 sprunghaft ändert, kann beim Auftreten eines Scatterers mit großer Verzögerung die Dimension der Scatterermatrix adaptiv erhöht werden. Umgekehrt ist es auch möglich, daß beim Verschwinden eines solchen Scatterers die Dimension der Matrix adaptiv verkleinert wird.

15

Die Entscheidung läßt sich aus (2) formelmäßig wie folgt darstellen

$$\hat{d}(0..N-L-1) = \underset{\substack{d(0..N-L-1) \\ S(m,k)}}{\operatorname{arg\,min}} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \left\| r(i) - \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^M d(i-m) \sum_{k=-K}^K S(m,k) e^{j2\pi \frac{ki}{N}} \right\|^2 \right) \quad (6)$$

20

Hierbei ist L die notwendige Verzögerung. Das Minimum wird über alle möglichen Datenhypothesen d und alle möglichen Scatterer S ermittelt.

25

Neben einer Optimierung der Dimension der Scatterermatrix bezüglich Verzögerung kann auch noch eine Optimierung bezüglich der maximal auftretenden Dopplershift erfolgen.

30

Bei der Entzerrung und Demodulation von single carrier Verfahren können die gesendeten Daten nur ISI in Zeitrichtung verursachen, d.h. in der Vergangeneheit gesendete Daten beeinflussen zeitlich später gesendete.

35

Beim Empfang von Multicarrier-Signalen, z.B. OFDM, ergibt sich aufgrund des ICI im Frequenzbereich, daß ein bestimmter Träger sowohl von benachbarten Trägern in

positiver wie auch negativer Frequenzrichtung beeinflußt wird.

Zusätzlich muß beachtet werden, daß sich im

5 Frequenzbereich eine zyklische Fortsetzung der Träger ergibt. Diese zyklische Fortsetzung kann in der Datenmatrix D berücksichtigt werden, indem die in (3) auftretenden Datensymbole $D(n-k)$ mit negativem Index entsprechend besetzt werden.

10 Durch eine ähnliche Berücksichtigung "zukünftiger" Ereignisse, d.h. Daten von höheren Frequenzen, durch entsprechende Verzögerung der Entscheidungen, wie bei der Berücksichtigung langer Verzögerungen in der

15 Kanalimpulsantwort bei der Verarbeitung im Zeitbereich, kann dieser Einfluß berücksichtigt und kompensiert werden. Auch hier kann die Scatterermatrix adaptiv angepaßt werden.

20 Mit (3) in (6) eingesetzt ergibt sich eine analoge Entscheidung für Multicarrier-Verfahren.

Das beschriebene Verfahren kann auch ohne die Initialisierung durch Training-Sequenzen arbeiten. In

25 diesem Fall wird die Verarbeitung mit default-Werten initialisiert, z.B. wird die Matrix P aus (4) als Einheitsmatrix vorbesetzt und der Scatterervektor \hat{S} zu Null initialisiert. Der Algorithmus wird dann in der Regel langsamer konvergieren. Weiterhin müssen alle möglichen

30 Anfangskonfigurationen für die Datenfolgen berücksichtigt werden.

Ansprüche

5

1. Verfahren zur Entzerrung und Demodulation eines über einen zeitveränderlichen Kanal zu einem Empfänger übertragenen Datensignals,

10 dadurch gekennzeichnet,

daß im Empfänger aus dem empfangenen Datensignal diejenigen Scatterer-Koeffizienten (Dämpfung, Verzögerung und Dopplerfrequenz) bestimmt werden, welche die Signalverzerrungen im Kanal hervorrufen, und damit dann

15 das Datensignal entzerrt und anschließend demoduliert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

20 daß die Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten und die Entzerrung des Datensignals im Zeitbereich erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

gekennzeichnet durch

25 seine Anwendung bei Single-Carrier-Datenübertragungsverfahren.

4. Verfahren nach Anspruch 2,

gekennzeichnet durch

30 seine Anwendung bei Multicarrier-Datenübertragungsverfahren bei Empfang von bekannten Datenfolgen (Trainings- oder Synchronisationssequenzen).

5. Verfahren nach Anspruch 1,

35 dadurch gekennzeichnet,

daß die Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten und die Entzerrung des Datensignals im Frequenzbereich erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

gekennzeichnet durch
seine Anwendung bei Multicarrier-
Datenübertragungsverfahren.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Scatterer-Koeffizienten über ein maximum-
likelihood-Kriterium bestimmt werden.
- 10 8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß das maximum-likelihood-Kriterium aus der euklidischen
Distanz zwischen dem Empfangssignal sowie der Scatterer-
Koeffizienten und den im Empfänger demodulierten Daten des
15 Signals bestimmt werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß eine erste Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten mit
20 Hilfe einer bekannten Datensequenz (Trainings- oder
Synchronisationssequenz) durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
25 daß die erste Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten
blockweise über eine gesamte Datensequenz durchgeführt
wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1
30 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß für die Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten ein
Kalman-Algorithmus iterativ benutzt wird.
- 35 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1
bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß für die Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten ein
recursive-least-square Algorithmus iterativ benutzt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß die bei der ersten Bestimmung ermittelten Scatterer-
5 Koeffizienten für den anschließenden Nutzdatenempfang
benutzt werden, wobei die Daten blockweise über eine
gesamte Datensequenz entzerrt und demoduliert werden und
mit den so blockweise entzerrten und demodulierten Daten
die bei der ersten Bestimmung ermittelten Scatterer-
10 Koeffizienten korrigiert werden.

14. Verfahren nach einem der vorhergehende Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die bei der ersten Bestimmung ermittelten Scatterer-
15 Koeffizienten für den anschließenden Nutzdatenempfang
benutzt werden, wobei mit den entzerrten und demodulierten
Daten die bei der ersten Bestimmung ermittelten Scatterer-
Koeffizienten nach einem Kalman- oder recursive-least-
square-Algorithmus korrigiert werden.

20 15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Korrektur der Scatterer-Koeffizienten sowie für
die Datendemodulation ein Baumsuchverfahren eingesetzt
25 wird, bei dem für alle möglichen Datenfolgen jeweils die
Scatterer-Koeffizienten sowie die Metriken bestimmt werden
und aus der Baumstruktur dann diejenigen Datenfolgen
ausgewählt werden, welche die beste maximum-likelihood-
Metrik besitzen.

30 16. Verfahren nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet,
daß die den ausgewählten besten Datenfolgen entsprechenden
Scatterer-Koeffizienten im Weiteren zur Entzerrung und
35 Demodulation benutzt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Auswahl der Datenfolgen blockweise für die gesamte betrachtete Datensequenz erfolgt.

18. Verfahren nach Anspruch 15 bis 16,
5 dadurch gekennzeichnet,
daß die Auswahl der Datenfolgen nach Erreichen einer vorgegebenen Pfadtiefe des Baumes durchgeführt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 15 bis 18,
10 dadurch gekennzeichnet,
daß beim Baumsuchverfahren ein Metrik-First-Algorithmus benutzt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 15 bis 18,
15 dadurch gekennzeichnet,
daß beim Baumsuchverfahren ein Breadth-First-Algorithmus benutzt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 15 bis 18,
20 dadurch gekennzeichnet,
daß beim Baumsuchverfahren ein Depth-First-Algorithmus benutzt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 15 bis 21,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß beim Baumsuchverfahren die Pfadtiefe bzw. die Anzahl der Pfade adaptiv gemäß den ermittelten Scatterer-Koeffizienten variiert wird.

- 30 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22,
dadurch gekennzeichnet,
daß bei der Ausgabe der demodulierten Datenfolge der Metrikwert mit ausgegeben wird.

- 35 24. Verfahren nach Anspruch 15 bis 22,
dadurch gekennzeichnet,
daß zusätzlich zur Datenfolge mit der besten maximum-likelihood-Metrik auch noch weitere nächstbeste

Datenfolgen mit nächstbester maximum-likelihood-Metrik ausgegeben werden.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 24,
5 dadurch gekennzeichnet,
daß beim Empfang von nach einem Code codierten Datensignalen beim Baumsuchverfahren nur die gültigen Codewörtern entsprechenden Datenfolgen berücksichtigt werden.

10 26. Verfahren nach Anspruch 25,
dadurch gekennzeichnet,
daß beim Baumsuchverfahren unter Berücksichtigung des Codes zusätzlich ein Viterbi- oder APP-Algorithmus benutzt wird.

15 27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die erste Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten nur
20 mit unbekannten Nutzdatenfolgen durchgeführt wird und bei der Initialisierung der Algorithmen anstelle der Training- und Synchronisationssequenzen default-Werte verwendet werden.

25 28. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß die maximale Anzahl der zu berücksichtigenden Scatterer-Koeffizienten in den Algorithmen anhand der jeweils vorher ermittelten Scatterer-Koeffizienten
30 angepaßt wird.

Zusammenfassung

5

Zur Entzerrung und Demodulation eines über einen zeitveränderlichen Kanal zu einem Empfänger übertragenen Datensignals werden im Empfänger aus dem empfangenen Datensignal diejenigen Scatterer-Koeffizienten (Dämpfung, 10 Verzögerung und Dopplerfrequenz) bestimmt, welche die Signalverzerrungen im Kanal hervorrufen. Damit wird dann das Datensignal entzerrt und anschließend demoduliert.

(Fig. 1)

$m = M = 6 \quad \tau_{\max}$

Fig 1

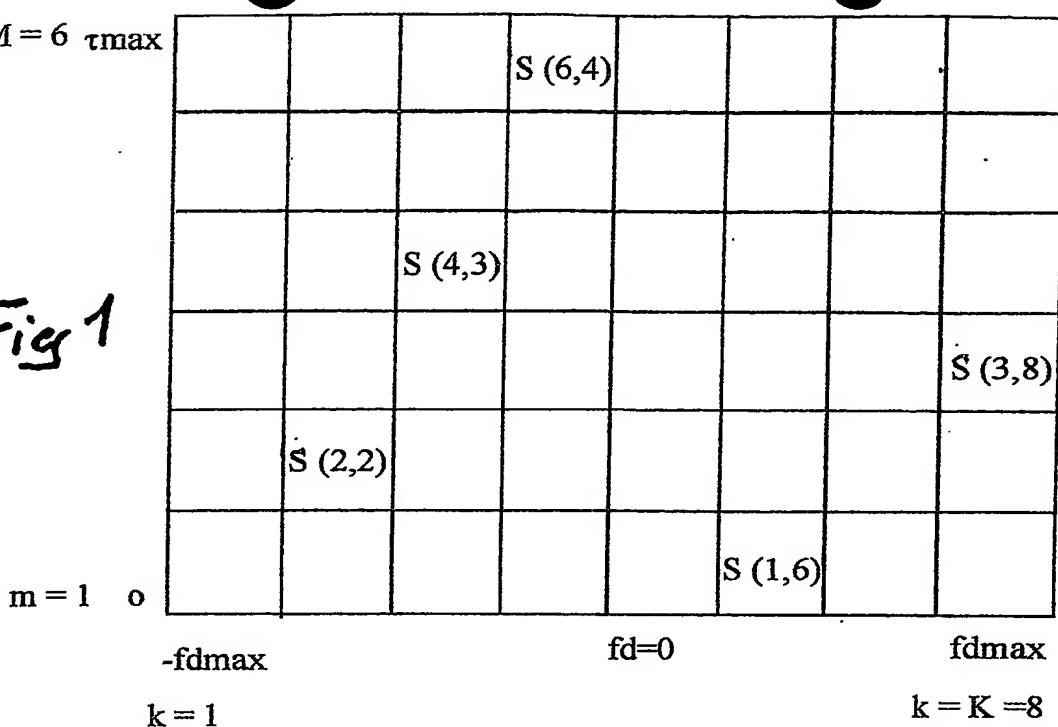
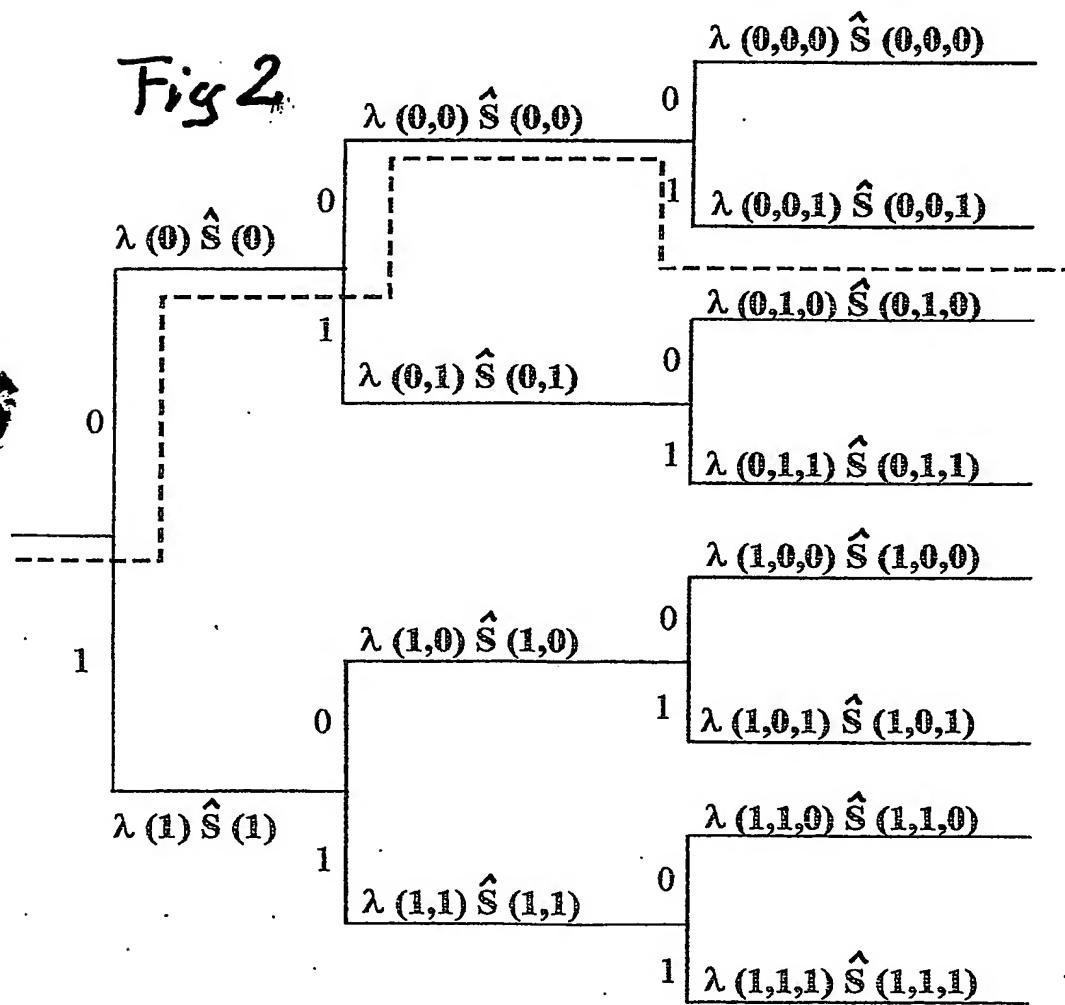


Fig 2



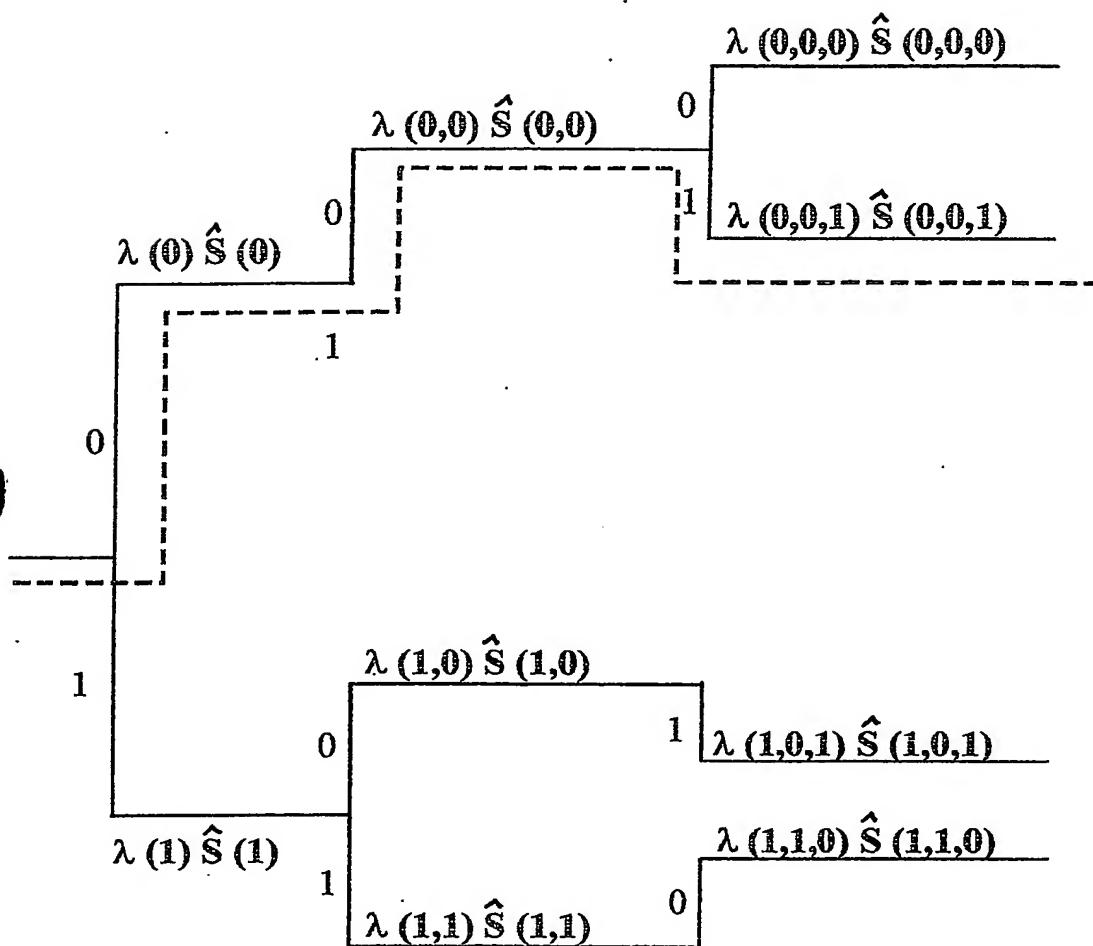


Fig 3